

ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ДОСТИЖЕНИЯ НЕРЕКРИСТАЛЛИЗОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛОСКОГО ПРОКАТА ИЗ АЛЮМИНИЕВО-МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В результате процессов горячей прокатки алюминиевых сплавов, как правило, достигается рекристаллизованное состояние металла вследствие прохождения процессов динамической рекристаллизации. С одной стороны, рекристаллизованное состояние позволяет получить более мягкий металл для последующей холодной прокатки, что снижает энергосиловые параметры процесса и в целом энергозатраты на производство продукции. Однако в промышленности авиационных материалов часто превалирует другая цель – получить материал наибольшей прочности уже на стадии горячей обработки металла. Для этого применяют прием структурного упрочнения материала: процессы проводят при таких условиях, в которых не происходит процесс рекристаллизации.

Эту задачу можно решать несколькими путями.

- Снизить температуру проведения процесса прокатки, т. е. вывести прокатку из режима горячей деформации в режим теплой деформации, обеспечив выполнение неравенства: $t_{пр} < t_{нр}$, где $t_{пр}$ – температура прокатки; $t_{нр}$ – температура начала рекристаллизации. В частности, по такому пути пошли авторы патента РФ № 2260488 «Способ изготовления броневых листов и плит из сплавов на основе алюминия и изделие из них». Они предложили вместо производства плит из сплавов серии 7000 (система Al-Zn-Mg), обладающих высокой прочностью, но невысокими коррозионными свойствами, применить производство плит из сплавов серии 5000 (система Al-Mg) при содержании магния не менее 4 %.

Переход от производства изделий из термоупрочняемого сплава к производству изделий из нетермоупрочняемого сплава, на первый взгляд, выглядит странно, особенно в сфере броневой материалов, но он обоснован тем, что металл удастся упрочнить пластической деформацией, переведя ее термический режим в состояние $t_{пр} < t_{нр}$. Критика такого подхода может заключаться в том, что при снижении температуры прокатки резко возрастают нагрузки на прокатный стан. Станы горячей прокатки ориентированы на большие обжаты, которые возможны, если прочность прокатываемого металла невысока из-за повышенных температур нагрева. Здесь это условие не выполняется, поэтому режим обжатий должен быть

пересмотрен в сторону снижения частных деформаций. В результате цикл прокатки удлинится, и произойдет еще большее остывание проката с повышением нагрузок на стан.

•Второй путь решения проблемы: в неравенстве $t_{пр} < t_{нр}$ не уменьшать параметр левой части $t_{пр}$, а увеличивать параметр правой части $t_{нр}$, тогда прокатку можно вести при относительно высоких температурах. Известно, что величина $t_{нр}$ для алюминиевых сплавов зависит от степени ε и скорости деформации ξ : $t_{нр} = f(\varepsilon, \xi)$. Параметр $t_{нр}$ повышается при снижении степени деформации и скорости деформации. Снижение степени деформации ведет к уменьшению обжатий и повышению цикличности, что вряд ли целесообразно. Более целесообразно снижать скорость деформации, что уже реализовано в прессовом производстве алюминиевых сплавов: здесь скорости прессования назначаются исходя из получения нерекристаллизованного состояния. В прокатном производстве такой прием практически не применяется из-за чрезмерно высоких скоростей обработки.

Формула для расчета скорости деформации при плоской прокатке выглядит следующим образом:

$$\xi = \frac{v_1 l}{R h_0}$$

где v_1 – скорость выхода металла из валков; $l = \sqrt{R \Delta h}$ – длина очага деформации; R – радиус валков, Δh – относительное обжатие; h_0 – толщина заготовки до деформации. После подстановки параметра l получим

$$\xi = \frac{v_1 \sqrt{R \Delta h}}{R h_0} = \frac{v_1 \sqrt{R \Delta h}}{(\sqrt{R})^2 h_0} = \frac{v_1 \sqrt{\Delta h}}{\sqrt{R} h_0}.$$

В последней формуле удалось выявить влияние радиуса валка: если целью является снижение скорости деформации, то радиус должен быть увеличен. Исходя из последней формулы, снизить скорость деформации можно следующими путями:

- снижением угловой и линейной скорости прокатки;
- уменьшением обжатия;
- увеличением радиуса валков;
- увеличением толщины полосы.

В частности, последний вывод приводит к промежуточному заключению о том, что прокатка толстых полос и плит при прочих равных условиях в настоящее время осуществляется при меньших скоростях деформации, чем прокатка тонких листов. Мало того, если прокатка ведется на одном и том же реверсивном стане, то при одной и той же скорости прокатки, скорость деформации непрерывно увеличивается. То есть первые проходы прокатки могут приводить к получению нерекристаллизованного

состояния, а последние проходы – к получению рекристаллизованного состояния.

Полученные выводы сделаны на основании применения теории прокатки по А.И. Целикову, которая основана на однородном строении очага деформации. Вместе с тем прокатка именно толстых полос и плит, в отличие от тонколистовой прокатки, производится в условиях неоднородного распределения деформаций, что должно быть учтено. Такие решения должны быть выполнены методом конечных элементов. В частности, может оказаться, что часть металла в очаге деформации окажется в условиях, приводящих к рекристаллизации, а часть – в полигонизованном состоянии. Сложность однозначного заключения состоит и в том, что зоны с повышенными скоростями деформации совсем не обязательно совпадают с зонами с повышенными степенями деформации. Поэтому возможно зональное структурное строение заготовки с чередующимися областями.

Выводы

Сформулирован перечень параметров, от которых зависит структурное состояние плоского проката из алюминиевых сплавов. Особое внимание предложено уделить параметру распределения скорости деформации по очагу деформации. Это позволит получать полуфабрикат с улучшенными механическими свойствами.